

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 7 月 22 日 (22.07.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/061876 A1

(51) 国際特許分類: H01F 10/16
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/016097
(22) 国際出願日: 2003 年 12 月 16 日 (16.12.2003)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願 2002-381917
2002 年 12 月 27 日 (27.12.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): TDK
株式会社 (TDK CORPORATION) [JP/JP]; 〒103-8272
東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 崔 京 九

(CHOI,Kyung-Ku) [KR/JP]; 〒103-8272 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 TDK株式会社内 Tokyo (JP). 村瀬 琢 (MURASE,Taku) [JP/JP]; 〒103-8272 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 TDK株式会社内 Tokyo (JP). 平塚 信之 (HIRATSUKA,Nobuyuki) [JP/JP]; 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5 埼玉大学内 Saitama (JP). 柿崎 浩一 (KAK-IZAKI,Kouichi) [JP/JP]; 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5 埼玉大学内 Saitama (JP).

(74) 代理人: 大場 充 (OBA,Mitsuru); 〒101-0032 東京都千代田区岩本町 1 丁目 4 番 3 号 KMビル 8 階 大場国際特許事務所 Tokyo (JP).

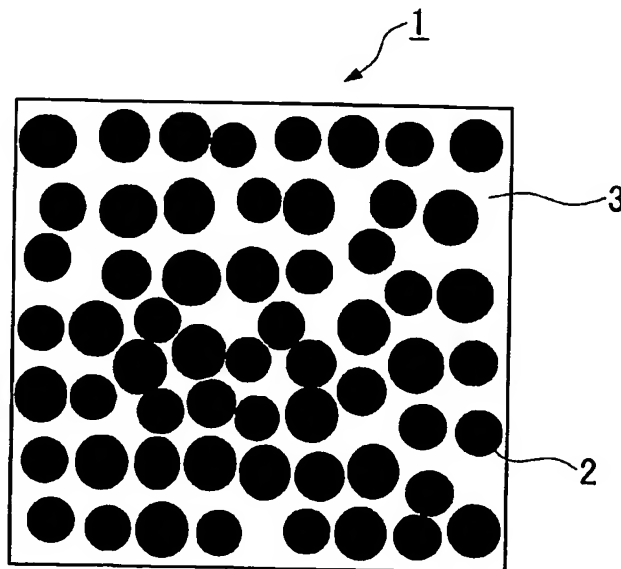
(81) 指定国 (国内): CN, JP, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[続葉有]

(54) Title: GRANULAR SUBSTANCE, MAGNETIC THIN FILM, AND MAGNETIC DEVICE

(54) 発明の名称: グラニューラー物質、磁性薄膜、磁気素子



(57) Abstract: A granular substance (1) having a soft magnetic characteristic. The granular substance (1) contains a matrix (3) of a nonmagnetic insulating organic material and ferromagnetic metallic particles (2) dispersed in the matrix (3) and having an average diameter of 50 nm or less. The volume ratio of the matrix (3) ranges from 5 to 50%. When the granular substance (1) is formed into a thin film, the film exhibits a complex permeability the real part (μ') of which is 40 or more at 1 GHz, a performance index Q ($Q = \mu' / \mu''$ where μ'' is the imaginary part of the complex permeability) of 1 or more, and a saturation magnetization of 5 kG or more.

[続葉有]



添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックス3と、マトリックス3中に分散する平均粒径が50 nm以下の強磁性金属粒子2とを含み、マトリックス3の体積比が5~50%であり軟磁気特性を有するグラニュー物質1を提供する。このグラニュー物質1は、膜状の形態を有する場合、1 GHzにおける複素透磁率の実数部(μ')が40以上で、かつ性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$, μ'' : 複素透磁率の虚数部)が1以上、飽和磁化が5 kG以上の特性を有する。

明 細 書

グラニューラー物質、磁性薄膜、磁気素子

5 技術分野

本発明は、非磁性絶縁有機物に強磁性金属微粒子を分散させたグラニューラー物質、特にグラニューラー薄膜に関する。

背景技術

- 10 磁気素子の小型化、高性能化に伴い、高い飽和磁化を有し、かつGHzの高周波数帯域における透磁率が高い磁性薄膜材料が求められている。

- 例えば、ワイヤレス送受信装置や携帯情報端末を中心に需要が高まっているモノリシックマイクロ波集積回路（MMIC）は、Si、GaAs、InPなどの半導体基板上に、トランジスタなどの能動素子と、線路、抵抗、キャパシタ、インダクタなどの受動素子とを、一括的かつ一体的に作製して構成される高周波集積回路である。

- このようなMMICにおいては、受動素子、特にインダクタやキャパシタが能動素子に比べ、大きな面積を占めている。このような受動素子の大面积の占有は、結果として、高価な半導体基板の大量消費、すなわち、MMICのコストアップにつながる。従って、チップ面積を縮小し、MMICの製造コストを低減するために、受動素子が占める面積を縮小することが課題となっている。

- MMICのインダクティブ素子としては平面型のスパイラルコイルが多く用いられている。そのスパイラルコイルの上下面、或いは片面に軟磁性薄膜を挿入し、インダクタンスを増加させる方法（換言すれば、小さな占有面積でも従来のインダクタンスが得られる方法）がすでに提案されている（例えば、J. Appl. Phys. 85, 7919 (1999)）。

しかしながら、磁性材料をMMICのインダクティブ素子へ応用するためには、先ず、GHzの高周波数帯域における透磁率が高く、かつ損失が少ない薄

膜磁性材料を開発することが求められている。さらには電気抵抗率が大きいことも求められている。

従来、高い飽和磁化を持つ磁性材料としてFeあるいはFeを主成分とする微結晶または非結晶質合金が良く知られている。ところが、Fe系合金の磁性膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の飽和磁化は高いものの、保磁力が大きく、また、電気抵抗率が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることは困難であった。

軟磁気特性が優れている材料として、Co系非結晶質合金が知られている。このCo系非結晶質合金は、Coを主成分としY, Ti, Zr, Hf, Nb, Taなどから選択される少なくとも1種の元素を含む非結晶質を主体とするものである。ところがゼロ磁歪組成のCo系非結晶質合金の磁性膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の透磁率は大きいものの、飽和磁化が11kG (1.1T) 程度であり、Fe系に比べて小さい。さらに、100MHz程度の周波数およびこれを超えてから損失成分(複素透磁率の虚数部 μ'')が大きくなり、性能指数Q値が1以下となり、GHzの高周波帯域で使用する磁性材料としては好適とは言えない。

このような実情のもとに軟磁性薄膜の高周波特性を改良するために種々の提案がなされてきた。その改良の基本方針としては、渦電流損失を抑制させ、あるいは共鳴周波数を上昇させることなどが挙げられる。渦電流損失を抑制させる具体的な方策としては、グラニューラー薄膜の利用が提案されている(例えば、J. Appl. Phys. 79, 5130 (1996))。

グラニューラー構造の薄膜について言及すれば、非磁性物質からなる媒質中に微細な強磁性粒子が分散した構造を有しており、非磁性金属-強磁性金属系および非磁性絶縁物-強磁性金属系が開発されている。

非磁性金属-強磁性金属系は、磁気抵抗効果を利用した磁気ヘッド材料(例えば、特許第2701743号公報)としての応用が可能である。一方、非磁性絶縁物-強磁性金属系の場合は、非磁性絶縁物の含有量によって磁気ヘッド材料(例えば、特許第3075332号公報)、高周波用インダクタ材料(例え

ば、J. Ceram. Soc. Japan, 110 (5), 432 (2002))、または、高周波用電波吸収材料（特開 2001-210518 号公報、特開 2002-158486 号公報）としての応用が可能である。

また、従来の磁気記録媒体分野においては、有機材料と強磁性体からなる複
5 合薄膜（例えば、特開昭 61-178731 号公報、特公平 3-77575 号公報）が開発されているものの、磁気記録媒体への応用に最適化されているため、保磁力が数 1000 e と大きく、高透磁率を必要とする製品には応用できなかった。

また、最近では、磁気記録媒体として C o P t または F e P t 合金とフルオ
10 ロカーボン重合物の複合薄膜が報告されている（例えば、日本応用磁気学会誌 vol. 26, No. 4, 2002 第 280 頁～第 283 頁、日本応用磁気学会誌 vol. 27, No. 4, 2003 第 336 頁～第 339 頁）。しかしながら、保磁力が 3000 e 以上と大きく、高周波用磁性材料としては応用が困難である。また、製造過程中に 300～600℃の高温での熱処理を伴うため、基板の材質が限定されてしまうなどの不具
15 合もある。

従来、非磁性絶縁物－強磁性金属系グラニューラー薄膜は、セラミックスの非
磁性絶縁物（酸化物、窒化物、フッ化物）と強磁性金属をスパッタ方法などで
同時に成膜することで得られている。しかし、従来のグラニューラー薄膜におい
ては、成膜中に強磁性金属微粒子の表面が絶縁物と反応し、磁気特性が劣化す
20 るために所望の磁気特性を得ることができないことがあった。また、このよう
な薄膜は構成材料である無機材料が硬質で柔軟性に欠けているためフレキシブルな磁気素子への応用が困難であった。

このような実状のもとに本発明は創案されたものであり、その目的は、GH
z 帯域の高周波領域で高い透磁率を有し、かつ高い飽和磁化を有する高周波用
25 磁性薄膜として用いることのできるグラニューラー物質および磁性薄膜の提供を
目的とする。また、本発明は、そのような磁性薄膜を用いた磁気素子を提供する
ことを目的とする。

発明の開示

かかる目的のもと、本発明では、非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックスと、マトリックス中に分散する平均粒径が50 nm以下の強磁性金属粒子とを含むグラニューラー物質であって、マトリックスの体積比が5～50体積%であることを特徴とするグラニューラー物質を提供する。

本発明のグラニューラー物質において、強磁性金属粒子は、Fe、CoおよびNiから選択される少なくとも1種の元素を主体とする合金から構成されることが望ましい。

特に、強磁性金属粒子をFeおよびCoを主体とする金属から構成することにより、高い飽和磁化を得ることができる。

この場合に、FeおよびCoを主体とする前記金属中のCoの濃度は10～50 at %であることが望ましい。

本発明のグラニューラー物質では、強磁性金属粒子は互いに交換結合が働く距離だけ離間して存在することができる。

また本発明のグラニューラー物質において、マトリックスは、有機ポリマーから構成されることが望ましい。

グラニューラー物質におけるマトリックスの体積比は5～40%であることが望ましい。

本発明のグラニューラー物質は、典型的には膜状の形態を有する。そしてその場合、1 GHzにおける複素透磁率の実数部 (μ') が40以上で、かつ性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$, μ'' : 複素透磁率の虚数部) が1以上、飽和磁化が5 kG (0.5 T) 以上の特性を有することができる。

本発明のグラニューラー物質によれば、1 GHzにおける複素透磁率の実数部 (μ') を50以上、性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$, μ'' : 複素透磁率の虚数部) を5以上、飽和磁化を6 kG以上とすることもできる。

また、本発明のグラニューラー物質は、電気抵抗率が100 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上の特性を有することができる。

また本発明によれば、面内磁気異方性を有し、膜厚が100～2000 nm

の磁性薄膜であって、Fe、CoおよびNiから選択される少なくとも1種の元素を主体とする平均粒径が50 nm以下の強磁性金属粒子と有機ポリマーとの混合物からなり、この混合物中において強磁性金属粒子が互いに交換結合が働く距離だけ離間して存在することを特徴とする磁性薄膜が提供される。

- 5 本発明の磁性薄膜において、強磁性金属粒子をFeおよびCoを主体とする金属から構成することが望ましい。

また、強磁性金属粒子の平均粒径は5～15 nmであることが望ましい。

本発明の磁性薄膜を構成する有機ポリマーとしては、ポリイミドまたは四フッ化エチレン（商品名：テフロン）が好適である。

- 10 さらに本発明によれば、高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、この高周波用磁性薄膜は、非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックスと、マトリックス中に分散する平均粒径が50 nm以下の強磁性金属粒子とを含み、マトリックスの体積比が5～50%であるグラニューラー物質から構成されることを特徴とする磁気素子が提供される。

- 15 本発明の磁気素子において、強磁性金属粒子の平均粒径は5～30 nmであることが望ましい。

また本発明の磁気素子において、強磁性金属粒子をFeおよびCoを主体とする金属から構成することが、高い飽和磁化を得る上で有効である。

- 20 本発明の磁気素子において、高周波用磁性薄膜を構成するマトリックスは有機ポリマーから構成することができる。

有機ポリマーとしてフルオロカーボン重合物を採用することで、高周波用磁性薄膜の電気抵抗率を $300 \mu\Omega \text{ cm}$ 以上とすることができる。

- 25 本発明の磁気素子において、高周波用磁性薄膜は、1 GHzにおける複素透磁率の実数部(μ')が40以上で、かつ性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$, μ'' : 複素透磁率の虚数部)が1以上、飽和磁化が5 kG以上の特性を有することが望ましい。

図面の簡単な説明

第 1 図は本発明によるグラニューラー物質の構造を模式的に示す図、第 2 図は蒸着重合法およびスパッタリング法を併用したグラニューラー薄膜形成装置（以下、「薄膜形成装置」ということがある）の一例を模式的に示す図、第 3 図はグラニューラー薄膜に形成される異方性を説明するための図、第 4 図はスパッタリング法を使用した薄膜形成装置の一例を模式的に示す図、第 5 図はプラズマ重合法およびスパッタリング法を併用した薄膜形成装置の一例を模式的に示す図、第 6 図は集積化インダクタの一例を示す平面図、第 7 図は第 6 図の A-A 線断面図、第 8 図は第 5 実施例で得られた試料 No. 1～5 の磁気特性等を示す図表、第 9 図は第 5 実施例で得られた試料 No. 1～4 の X 線回折パターン、第 10 図（a）は試料 No. 2 の TEM（Transmission Electron Microscope：透過型電子顕微鏡）写真、第 10 図（b）は試料 No. 4 の TEM 写真、第 11 図は試料 No. 2 の電子線回折パターンである。

発明を実施するための最良の形態

以下に本発明の実施の形態について説明する。

第 1 図は、本実施の形態におけるグラニューラー物質 1 の構造を模式的に示す図である。グラニューラー物質 1 は、強磁性金属粒子 2 が非磁性絶縁有機物材料から構成されるマトリックス 3 に分散された構造を有している。このような構造を有しているグラニューラー物質 1 は、典型的には薄膜として実用される。そしてこの薄膜は、軟磁気特性を有していること、および優れた高周波特性を有していることが本発明の目的を達成する上で重要である。

軟磁気特性を得るために、強磁性金属粒子 2 は、平均粒径が 50 nm 以下になっており各強磁性金属粒子 2 のスピンのランダムな向きをしていること、さらに強磁性金属粒子 2 同士の距離が交換結合が働く程度の距離になっていることが重要である。

強磁性金属粒子 2 として Fe、Co および Ni から選択される少なくとも 1 種の元素を主体とする金属を採用する。これにより、グラニューラー物質 1 の保磁力および飽和磁化を調整することができる。具体的には、純 Fe、純 Co、

純Niのほか、FeCo系合金、FeNi系合金、CoNi系合金、FeCoNi系合金を用いることができる。なかでも、FeCo系合金が強磁性金属粒子2として望ましい。FeCo系合金の方がFeよりも高い飽和磁化が得られるからである。FeCo系合金中、Coの含有量は、80at%以下の範囲で
5 適宜定めればよいが、10～50at%の範囲で含有させることが望ましい。

また、本発明の目的を害さない範囲で、Fe、CoおよびNi以外の金属元素または非金属元素を含有することを許容する。

ここで、強磁性金属粒子2の粒径が100nm以下の範囲において、保磁力は強磁性金属粒子2の粒径の6乗に比例する。つまり、強磁性金属粒子2の粒径を小さくすることにより、保磁力を低い値に規制することができる。そこで
10 本発明のグラニューラー物質1は、強磁性金属粒子2の平均粒径を50nm以下に規制する。望ましい強磁性金属粒子2の平均粒径は30nm以下、より望ましくは5～30nmである。

軟磁気特性を得るために、強磁性金属粒子2同士の距離が交換結合が働く程度の距離になっていることが重要であることは上述の通りである。本発明では、
15 強磁性金属粒子2同士の距離を、マトリックス3の体積比で調整することができる。マトリックス3の体積比が50%を超えると強磁性金属粒子2同士の距離が離れすぎて強磁性金属粒子2間の交換結合力が失われてしまう。そこで、本発明では、非磁性絶縁有機物材料から構成されるマトリックス3の体積比を
20 50%以下とする。一方、マトリックス3の量が少ないと、後述する方法で得られたグラニューラー物質1において強磁性金属粒子2の粒径を小さくすることができなくなる。強磁性金属粒子2の平均粒径を本発明の範囲、つまり50nm以下とするためには、マトリックス3の体積比を5%以上とすることが望ましい。望ましいマトリックス3の体積比は5～40%、より望ましくは10～
25 40%である。

マトリックス3を構成する非磁性絶縁有機物材料としては、公知の有機ポリマーを用いることができる。有機ポリマーとしては、合成樹脂重合体の他、これらの重合体を重合により生成する重合性のモノマー、オリゴマーを含む。例

例えば、ヒドロキシエチルアクリレート、ヘキサンジオールジアクリレート、ネオペンケルグリコールジアクリレート、メチルー α -クロロアクリレート、トリメチロールプロパントアクリレート、ジペンタオールヘキサアクリレート、トリメチロールプロパントリジェチレングリコールアクリレート、ウレタンアクリレートなどのアクリル系モノマー或いはオリゴマーなど紫外線、電子線硬化型樹脂を用いることができる。また、マトリックス3を構成する有機ポリマーとして、ポリイミド、ポリテトラフロロエチレン（四フッ化エチレン）、ポリエチレンテレフタレート、ポリカーボネート、ポリパラキシレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリスチレン、トリフロロクロロエチレン、アリルトリフロロアセチレン、アジピン酸-ヘキサメチレンジアミンオリゴマー、シリコーン油を用いることができる。

有機ポリマーに代表される非磁性絶縁有機物材料によってマトリックス3を構成することにより、本発明のグラニューラー物質1は、無機材料をマトリックスとする従来のグラニューラー物質に比べて柔軟性に富み、機械的な応力が付与された場合でも割れ、欠け等の破損が生じにくいという耐応力性に優れることになる。

本発明によるグラニューラー物質1の典型的な形態として薄膜が掲げられることは上述の通りである。この薄膜は良好な高周波特性を有することが可能である。すなわち、グラニューラー物質1が上述したような軟磁気特性を有すること、後述する方法によって得た薄膜には面内磁気異方性を付与することができることに加えて、マトリックス3を非磁性絶縁有機物材料から構成することにより高電気抵抗を実現して渦電流損失を軽減できるため良好な高周波特性を得ることを前提とすると、当該グラニューラー物質1の電気抵抗にもよるが、その厚さを50～2000nmの範囲とすることが望ましい。より望ましい膜厚は100～500nmである。

本発明によるグラニューラー物質1を用いた薄膜は、1GHzにおける複素透磁率の実数部(μ')を40以上、望ましくは50以上、より望ましくは100以上、より一層望ましくは200以上とすることができる。そして、この薄

膜の性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) を1以上、望ましくは5以上、より望ましくは10以上とすることができる。なお、本発明において、これら特性は成膜したままの状態を得ることができる。つまり、成膜完了からの経過時間を問わないが、成膜後に例えば熱処理等の処理を加えていない状態で測定した値によ

5 って本発明で規定する特性を具備するか否かの判断を行うことができる。ただし、成膜後に熱処理等の処理を加えた場合であっても、本発明で規定する特性を具備するものは本発明の範囲に含まれることは言うまでもない。以下も同様である。

また本発明によるグラニューラー物質1を用いた薄膜は、飽和磁化が5 kG (0.5 T) 以上、望ましくは6 kG (0.6 T) 以上、より望ましくは10 kG (1.0 T) 以上、さらに望ましくは15 kG (1.5 T) 以上とすることができる。

10

さらに本発明によるグラニューラー物質1を用いた薄膜は、異方性磁界を200 Oe (1591 A/m) 以上、望ましくは500 Oe (3978 A/m) 以上、さらに望ましくは700 Oe (5570 A/m) 以上の特性を得ることができる。

さらにまた本発明によるグラニューラー物質1を用いた薄膜は、電気抵抗率を100 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上、望ましくは150 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上、さらに望ましくは200 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上とすることができる。特に、マトリックス3を構成する非磁性絶縁有機物材料としてフルオロカーボン重合物を用いた場合には、電気抵抗率を300 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上、望ましくは500 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上、さらに望ましくは1

15

20 000 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上とすることができる。

次に、本発明によるグラニューラー薄膜の製造に好適な方法について説明する。

本発明のグラニューラー薄膜は、マトリックス3を構成する非磁性絶縁有機物材料と強磁性金属粒子2とを、同じ系内で同時に成膜処理することにより得ることができる。

25 非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックス3の形成には従来公知の薄膜形成プロセスを適用することができる。例えば、蒸着重合法、プラズマ重合法、スパッタリング法およびレーザアブレーション法を適用することができる。

蒸着重合法は、ポリマーを構成するモノマーを各々加熱して蒸発させ、所定

の基板上にポリマーを蒸着重合させる方法である。プラズマ重合法は、モノマーをガス化してプラズマ放電により重合させる方法である。スパッタリング法は板状の非磁性絶縁有機物材料（例えばポリマー）をターゲット材としてスパッタリングにより薄膜を形成する方法である。レーザアブレーション法は、非
5 磁性絶縁有機物材料にレーザ光を照射してアブレーションを生じさせて基板上に当該非磁性絶縁有機物材料を成膜する方法である。なお、アブレーションとは、局所的に発生する高温プラズマ状態からターゲット物質が飛散する現象をいう。

強磁性金属粒子 2 の形成についても従来公知の薄膜形成プロセスを適用することができる。例えば、PVD（Physical Vapor Deposition：物理的蒸着法、
10 例えば、蒸着法、スパッタリング法、レーザアブレーション法など）、CVD（Chemical Vapor Deposition：化学的蒸着法）を適用することができる。

非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックス 3、強磁性金属粒子 2 の各々については、上述の成膜形成プロセスを適用するが、本発明では各々のプロセス
15 を同時に行うことにより、上述のようなグラニューラ薄膜を形成する。その例を第 2 図～第 5 図に基づいて説明する。

第 2 図は、本発明によるグラニューラ薄膜を形成するための装置の構成概要を示している。この装置は、非磁性絶縁有機物材料から構成されるマトリックス 3 は蒸着重合により得ることができ、強磁性金属粒子 2 はスパッタリングに
20 より得ることができるものである。

第 2 図において、薄膜形成装置は、真空容器 10 内の下部に有機物蒸発用セル 11、12 を備えている。有機物蒸発用セル 11、12 は、上部が開口したカップ状の形状をしており、薄膜形成時にはこの有機物蒸発用セル 11、12 内に重合原料であるモノマーが収容される。有機物蒸発用セル 11、12 には、
25 収容されたモノマーを所定の蒸発温度まで加熱するヒータ（図示せず）を付設している。

有機物蒸発用セル 11、12 の上部にはシャッタ 13、14 が各々配設されている。このシャッタ 13、14 は、有機物蒸発用セル 11、12 の開口部を

覆う位置（閉じる）と開放する位置（開く）との間を往復動する。第2図は、シャッタ13、14を閉じた状態を示している。有機物蒸発用セル11、12内に収容されたモノマーが蒸発しているときに、その蒸発物を飛散させたくない場合にはシャッタ13、14を閉じ、飛散させたいときにはシャッタ13、
5 14を開く。

有機物蒸発用セル11、12の間には、ターゲット載置台15が配設されており、このターゲット載置台15上にターゲット16が載置される。このターゲット16は、強磁性金属粒子2を形成するためのものである。ターゲット16にDC／RF電源（図示せず）から所定の電力を印加することにより、ター
10 ゲット16に対して高速でイオンを衝突させる。高速でイオンが衝突したターゲット16の表面からターゲット16を構成する元素の分子または原子がたたき出される。ターゲット16は、強磁性金属粒子2と実質的に同一組成の合金ターゲット、強磁性金属粒子2を構成する元素からなる単一組成ターゲット、
単一組成ターゲットの組み合わせ、単一組成ターゲットと合金ターゲットとの
15 組み合わせ等種々の形態を適用することができる。ターゲット載置台15の上部（ターゲット16の上部）にはシャッタ18が配設されている。シャッタ18の動作はシャッタ13、14と同様である。

真空容器10の上部には、基板19、基板19を所定の温度に加熱するヒータ20が配設されている。基板19の図中下面側が膜形成面である。つまり、
20 有機物蒸発用セル11、12内から蒸発したモノマーは基板19の膜形成面に堆積しつつポリマーに重合され、かつターゲット16からたたき出された金属原子が基板19の膜形成面に堆積する。スパッタリング、およびモノマーの蒸発を同時に行うことにより、ポリマーをマトリックス3とし、このマトリックス3中に分散する微細な強磁性金属粒子2とを含むグラニューラ薄膜を形成す
25 ることができる。

基板19に形成されるグラニューラ薄膜に磁気的な異方性を付与するために、基板19の周囲には一対の永久磁石21、22が配設されている。永久磁石21のN極から永久磁石22のS極へと磁束が流れるため、基板19の下面側（膜

形成面) に形成されるグラニューラー薄膜に磁氣的な異方性を付与することができる。

第 3 図は、グラニューラー薄膜に形成される磁氣的な異方性を説明するための平面図である。第 3 図中、x 方向に磁化容易軸が形成され、x 方向と直行する
5 y 方向に磁化困難軸が形成される。なお、第 2 図に示した矢印は、磁化容易軸となる方向を示している。

第 4 図は、非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックス 3 および強磁性金属粒子 2 の両者をスパッタリングにより得ることのできる薄膜形成装置の構成概要を示している。

10 第 4 図の薄膜形成装置は、真空容器 30 内の下部にターゲット載置台 31、32 が所定間隔隔てて配設されている。このターゲット載置台 31、32 上には各々ターゲット 33、34 が載置される。2 つのターゲット 33、34 のうち、一方が非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックス 3 を形成するためのもの、他方が強磁性金属粒子 2 を形成するためのものである。このターゲット 3
15 3、34 に対して DC/R F 電源 (図示せず) から所定の電力を印加することにより、ターゲット 33、34 に対して高速でイオンを衝突させる。高速でイオンが衝突したターゲット 33、34 の表面からターゲット 33、34 を構成する元素の分子または原子がたたき出される。ここで、非磁性絶縁有機材料用のターゲットへは R F 電力を供給することが望ましい。マトリックス 3 形成用
20 のターゲット 33 (34) の形態には特に制限はなく、例えば板状に形成されたポリマーからなる形態、粉状のポリマーを板状基板上に圧延展開させた形態等を採用することができる。強磁性金属粒子 2 形成用のターゲット 33 (34) は、前述した通りである。なお、シャッタ 37、38 は、上述したシャッタ 13、14 と同様に機能する。また、永久磁石 21a、22a は、上述した永久
25 磁石 21、22 と同様に、基板 39 の表面 (膜形成面) に形成されるグラニューラー薄膜に磁氣的な異方性を付与するために機能する。

第 4 図の薄膜形成装置において、シャッタ 37、38 を開けた状態でターゲット 33、34 に所定の電力を印加することによりマトリックス 3 を形成する

非磁性絶縁有機物材料がスパッタリングされると同時に強磁性金属粒子 2 を形成する強磁性金属がスパッタリングされる。スパッタリングされた非磁性絶縁有機物材料および強磁性金属が、ヒータ 40 により所定温度に加熱された基板 39 の膜形成面に堆積されることにより、薄膜状のグラニューラー物質 1 を形成する。

第 5 図は、非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックス 3 をプラズマ重合により得ることができ、強磁性金属粒子 2 をスパッタリングにより得ることのできる薄膜形成装置の構成概要を示している。

第 5 図の薄膜形成装置は、真空容器 50 内の側部に電極 51、52 が所定距離隔てて対向するようにして配設されている。電極 51 上にはターゲット 55 を備えた永久磁石 53 が、電極 52 上にはターゲット 56 を備えた永久磁石 54 が、それぞれ載置される。この永久磁石 53、54 の存在により、基板 59 上に形成されるグラニューラー薄膜に磁気的な異方性が付与される。ターゲット 55、56 はいずれも強磁性金属粒子 2 を形成するためのものである。このターゲット 55、56 に対して DC/RF 電源（図示せず）から所定の電力を印加することにより、ターゲット 55、56 に対して高速でイオンを衝突させる。高速でイオンが衝突したターゲット 55、56 の表面からターゲット 55、56 を構成する元素の分子または原子がたたき出される。なお、強磁性金属粒子 2 形成用のターゲット 55、56 の形態等は前述した通りである。

真空容器 50 の上部には基板 59、ならびに基板 59 を所定の温度に加熱するヒータ 60 が配設されている。基板 59 の図中下面側が膜形成面である。

さて、第 5 図に示す薄膜形成装置では、スパッタリングガスと共にフルオロカーボン系ガスをフローさせることにより、ターゲットのスパッタリング現象およびプラズマ重合反応を同時に利用することが可能である。すなわち、ガス導入部 61 から Ar 等のスパッタリングガスおよびフルオロカーボン系ガスが同時に導入され、発生されたプラズマ 70 の中にはターゲット 55、56 からたたき出された金属粒子とフルオロカーボン系プラズマ重合物が混在する状態をつくり、基板 59 の膜形成面に集積させる。このように、フルオロカーボン

系ガスを導入しながらスパッタリングを行うことにより、プラズマ重合物をマトリックス 3 とし、このマトリックス 3 中に分散する微細な強磁性金属粒子 2 とを含むグラニューラー薄膜を形成することができる。なお、フルオロカーボン系ガスの分圧を制御することで、グラニューラー薄膜中に生成されるマトリックス 3 の量を制御することができる。

フルオロカーボン系ガスとしては、 C_2F_4 および C_4F_8 からなる群より選択された一元気体源を使用することができる。または、F/C 比の高いフルオロカーボン系ガスの一種（例えば、 C_2F_6 、 CF_4 ）と、F/C 比を低下させるガスとを含む二元気体源を使用することができる。なお、プラズマ 70 に、 H_2 、 O_2 又は N_2 を導入することにより、グラニューラー薄膜に所望の機械的特性及び物理的特性を付与することもできる。

プラズマ重合反応により、フルオロカーボン系ガスはフルオロカーボン重合物となる。フルオロカーボン重合物の代表的な重合物としては四フッ化エチレンが挙げられる。

なお、第 5 図の薄膜形成装置では、基板 59 の下方にシャッタ 62 が配設されている。このシャッタ 62 は、基板 59 の膜形成面を覆う位置（閉じる）と開放する位置（開く）との間を往復動する。第 5 図は、シャッタ 62 を閉じた状態を示している。ターゲット 55、56 の表面からターゲット 55、56 を構成する元素の分子または原子がたたき出されているときに、その分子または原子を基板 59 の膜形成面に被着させたくない場合にはシャッタ 62 を閉じ、被着させたいときにはシャッタ 62 を開く。シャッタ 62 の動作を制御することで、グラニューラー薄膜の厚さを制御することができる。

また、第 5 図には対向ターゲット式装置を基本とした薄膜形成装置を示したが、他の形式のスパッタ装置を改良してグラニューラー薄膜を得ることも可能である。例えば第 2 図に示した薄膜形成装置で、蒸着重合法に代えてプラズマ重合法を適用することができる。つまり、第 2 図に示した薄膜形成装置にてモノマーガスをフローさせつつ同時にスパッタリングを行うことにより、プラズマ重合物をマトリックス 3 とし、このマトリックス 3 中に分散する微細な強磁性

金属粒子 2 とを含むグラニューラー薄膜を形成することもできる。

本発明のグラニューラー薄膜は、モノリシックマイクロ波集積回路 (MMIC) のような半導体プロセスで製作される高周波集積回路に最適な材料である。したがって、本発明のグラニューラー薄膜が形成される基板としては、Si、GaAs、InP、SiGe などの半導体基板が例示できる。また、本発明のグラニューラー薄膜は様々なセラミックス材料や樹脂基板上に成膜することも可能である。

MMIC 用インダクティブ素子として応用した例を第 6 図および第 7 図に示す。第 6 図はインダクタの導体層部分を抜き出した平面図を模式的に示したものであり、第 7 図は第 6 図の A-A 線断面を模式的に示した図面である。

これらの図面で示しているインダクタ 110 は、第 7 図に示されるように基板 111 と、この基板 111 の上に必要に応じて形成される酸化絶縁膜 112 と、この酸化絶縁膜 112 の上に形成された本発明によるグラニューラー薄膜 101a と、このグラニューラー薄膜 101a の上に形成された絶縁膜 113 を備え、さらにこの絶縁膜 113 の上に形成されたスパイラルコイル 114 と、このスパイラルコイル 114 と絶縁膜 113 を覆うように形成された絶縁膜 115 と、この絶縁膜 115 の上に形成された本発明によるグラニューラー薄膜 101b とを有している。

また、スパイラルコイル 114 は、第 6 図に示されるように、配線 116 を介して一対の電極 117 に接続されている。そして、スパイラルコイル 114 を囲むように設けられたグラウンドパターン 119 は、それぞれ一対のグラウンド電極 118 に接続され、グラウンドーシングナルーグラウンド (G-S-G) タイプのプロープにより、ウェハ上で周波数特性を評価する形状を有する。

本実施の形状にかかる MMIC 用インダクティブ素子 (インダクタ 110) においては、磁芯となるグラニューラー薄膜 101a、101b によってスパイラルコイル 114 が挟み込まれた有芯構造を採用しているため、スパイラルコイル 114 が同じ形状でありながらもグラニューラー薄膜 101a、101b が形成されていない空芯構造のインダクティブ素子に比べ、インダクタンス値が約 50% 向

上される。したがって、同じインダクタンス値を得るために必要なスパイラルコイル 114 の占有面積は小さくてもよいことになり、その結果としてスパイラルコイル 114 の小型化が実現される。

ところで、MMIC 用インダクティブ素子に適用するグラニューラ薄膜の材料としては、GHz 帯域の高周波数で高透磁率、かつ高い性能指数 Q（低損失）特性を持つことや、半導体製造プロセスによる集積化が可能であることが求められる。

GHz 帯域の高周波数における高透磁率を実現するためには、共鳴周波数が高く、かつ飽和磁化が大きい材質が有利であり、一軸磁気異方性の制御が必要である。また、高い性能指数 Q を得るためには、高抵抗化による渦電流損失の抑制が重要である。さらに、集積化プロセスに適用するためには、室温で成膜でき、成膜ままの状態（熱処理等の処理を加えていない状態）で使えることが望ましい。すでにセッティングされている他のオンチップコンポーネントの性能および作製プロセスに影響を及ぼさないようにするためである。

15 (実施例)

次に、具体的な実施例を挙げて本発明をさらに詳細に説明する。

<第 1 実施例>

第 2 図に示した薄膜形成装置を用いてグラニューラ薄膜の形成を行った。

非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックスとしてポリイミドを形成するため、原料モノマーとして、無水ピロメリト酸（以下、PMDA）と、4, 4'-ジアミノジフェニルメタン（以下、ODA）を用いた。なお、PMDA を有機物蒸発用セル 11 に、また ODA を有機物蒸発用セル 12 に収容した。

また、強磁性金属としては $\text{Fe}_{69}\text{Co}_{31}$ (at%) 合金を採用した。そのために $\text{Fe}_{69}\text{Co}_{31}$ (at%) 合金ターゲットを作製し、このターゲット 16 をターゲット載置台 15 上に配置した。

グラニューラ薄膜を形成する基板 19 としては、Si (100) ウェハの上に SiO_2 を 500 nm の厚さに成膜した基板 19 を用いた。なお、 SiO_2 膜が形成された面が薄膜形成面となる。

5 10 15 20
先ず、真空容器 10 を 8×10^{-6} Pa まで予備排気後、真空容器 10 内の圧力が 0.2 Pa になるように Ar ガスを流入した。シャッタ 18 を閉じた状態で、DC 電極を介して 200 W の DC パワーを $\text{Fe}_{69}\text{Co}_{31}$ (at %) 合金からなるターゲット 16 に印加してスパッタリングを行った。同様にシャッタ 13、14 を閉じた状態で、PMDA が收容された有機物蒸発用セル 11 を 130℃、ODA が收容された有機物蒸発用セル 12 を 120℃ になるように加熱した。基板 19 の周囲には一対の永久磁石 21、22 を配置し、基板 19 の中心に 1000 e 以上の磁界を印加し、基板 19 の温度を 150℃ に保持した。

10 15 20
所定時間経過後にシャッタ 13、14 および 18 を同時に開くことで PMDA、ODA の蒸発物およびターゲット 16 から放出されたスパッタリング粒子が基板 19 に向けて進行する。なお、強磁性金属粒子を構成する $\text{Fe}_{69}\text{Co}_{31}$ は、単層膜を形成したとするときの成膜速度が $1.2 \text{ nm} (12 \text{ \AA}) / \text{sec}$ となるようにスパッタリングした。また、PMDA、ODA については、ポリイミドの単層膜を形成したとするときの成膜速度が $0.3 \text{ nm} (3 \text{ \AA}) / \text{sec}$ となるように有機物蒸発用セル 11、12 の加熱温度等を制御した。この条件下で、グラニューラ薄膜の厚さが 450 nm になるように 5 分間成膜を行った。

20
得られたグラニューラ薄膜は、成膜速度から換算すると強磁性金属粒子の体積比は 80%、マトリックスの体積比は 20% である。また、X 線回折パターンからは平均粒径 7 nm の bcc 構造の微細な強磁性金属粒子が形成されていることを確認した。

25
得られたグラニューラ薄膜について磁気的な特性を測定したところ、面内一軸磁気異方性が観察された。また、飽和磁化として 13.3 kG (1.33 T)、保磁力として 3.5 Oe (278 A/m)、異方性磁界として 75 Oe (5968 A/m) の値が得られた。共鳴周波数は測定限界の 2 GHz を超えており、GHz 領域で透磁率の実数部 (μ') が 200 以上、性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 1 GHz で 10 の値が得られた。また、電気抵抗率は $260 \mu \Omega \text{ cm}$ であった。
<第 2 実施例>

強磁性金属を Fe に変えた以外は第 1 実施例と同様にしてグラニューラ薄膜

を得た。第1実施例と同様に磁気的特性を測定したところ、飽和磁化として12.1 kG (1.21 T)、保磁力として4.0 Oe (318 A/m)、異方性磁界として700 Oe (55704 A/m)の値が得られた。共鳴周波数は測定限界の2 GHzを超えており、GHz領域で透磁率の実数部(μ')が200以上、性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$)は1 GHzでは12の値が得られた。また、電気抵抗率は250 $\mu\Omega\text{cm}$ であった。

<第3実施例>

モノマーとして、4, 4'-ジフェニルメタンジイソシアナートとベンゼンテトラカルボン酸二無水物を使用し、4, 4'-ジフェニルメタンジイソシアナートを投入した有機物蒸発用セル11を70℃、ベンゼンテトラカルボン酸二無水物を投入した有機物蒸発用セル12を140℃になるように加熱し、基板19を加熱しない以外は、第1実施例と同様にしてグラニューラ薄膜を作製した。なお、4, 4'-ジフェニルメタンジイソシアナートおよびベンゼンテトラカルボン酸二無水物については、ポリイミドの単層膜を形成したとするとときの成膜速度が0.125 nm/sec (1.25 Å/sec)となるように有機物蒸発用セル11、12の加熱温度等を制御した。

得られたグラニューラ薄膜における強磁性金属粒子の体積比は90%、マトリックスの体積比は10%である。X線回折パターンから、平均粒径10 nmのbcc構造の微細な強磁性金属粒子が形成されていることを確認した。得られたグラニューラ薄膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化として17.5 kG (1.75 T)、保磁力として2.5 Oe (198 A/m)、異方性磁界として700 Oe (55704 A/m)の値が得られた。共鳴周波数は測定限界の2 GHzを超えており、GHz領域で透磁率の実数部(μ')が250以上、性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$)は1 GHzでは15の値が得られた。また、電気抵抗率は110 $\mu\Omega\text{cm}$ であった。

<第4実施例>

第4図に示した薄膜形成装置を用いてグラニューラ薄膜の形成を行った。

非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックスとして四フッ化エチレン(商品

名：テフロン、以下PTFE)を用いた。そのためのターゲットとして直径100 mm、厚さ2 mmのPTFE板を用意した。強磁性金属は第1実施例と同様であり、FeCo合金ターゲットを用意した。PTFEターゲットおよびFe-Co合金ターゲットをターゲット載置台31、32上に配置した。なお、基板39としては第1実施例と同様にSi(100)ウェハの上にSiO₂を500 nmの厚さに成膜した基板39を用いた。

真空容器30を 8×10^{-5} Paまで予備排気後、真空容器30内の圧力が0.4 PaになるようにArガスを流入した。シャッタ37、38を閉めた状態でDC/RF電源を介して300 WのRFパワーをPTFEターゲットおよびFe-Co合金ターゲットに印加し、5分間の予備スパッタリングを行った。予備スパッタリング終了後、シャッタ37、38を同時に開け、基板39にPTFEとFeCo合金を同時に集積させることによりグラニューラー構造の薄膜を形成した。なお、FeCo合金の単層膜を形成したとするときの成膜速度は0.08 nm/sec (0.8 Å/sec)であり、PTFEの単層膜を形成したとするときの成膜速度は0.01 nm/sec (0.1 Å/sec)である。この条件下で、グラニューラー薄膜の厚さが430 nmになるように80分間成膜を行った。

得られたグラニューラー薄膜は、成膜速度から換算した強磁性金属粒子の体積比は88%、マトリックスの体積比は12%である。また、X線回折パターンからは平均粒径9 nmのbcc構造の微細な強磁性金属粒子が形成されていることを確認した。

得られたグラニューラー薄膜について磁気的な特性を測定したところ、面内一軸磁気異方性が観察された。また、飽和磁化として17.3 kG (1.73 T)、保磁力として5.8 Oe (461 A/m)、異方性磁界として75 Oe (596 A/m)の値が得られた。共鳴周波数は測定限界の2 GHzを超えており、GHz領域で透磁率の実数部(μ')が200以上、性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$)は1 GHzでは15の値が得られた。また、電気抵抗率は100 $\mu\Omega$ cmである。

<第5実施例>

第5図に示した薄膜形成装置を用いてグラニューラー薄膜の形成を行った。

非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックスを形成するためのフルオロカーボン系ガスとして C_4F_8 ガスを用いた。また、キャリアガスとして Ar ガスを用いた。強磁性金属は第1実施例と同様であり、 $FeCo$ 合金ターゲットを用意した。 $Fe-Co$ 合金ターゲットをターゲット載置台51、52上に配置した。

5 5 なお、基板59としては第1実施例と同様に $Si(100)$ ウェハの上に SiO_2 を500nmの厚さに成膜した基板59を用いた。

真空容器50を $8 \times 10^{-5} Pa$ まで予備排気後、ガス導入部61から C_4F_8 ガスとキャリアガス(Ar ガス)とを導入し、全体のガス圧が8mTorrになるように調整した。その際、 C_4F_8 ガス分圧は0~1.0mTorrの範囲で

10 変化させた。

電極51、52を介して300WのRFパワーを $Fe-Co$ 合金からなるターゲット53、54に印加し、5分間の予備スパッタリングを行った。この予備スパッタリングはシャッタ62を閉めた状態で行った。

次にシャッタ62を開け、基板59にフルオロカーボン重合物と $FeCo$ 合金を同時に集積させることによりグラニューラー構造の薄膜を形成した。なお、 $FeCo$ 合金の単層膜を形成したとするときの成膜速度は0.15nm/sec(1.5Å/sec)であり、 $FeCo$ 合金とフルオロカーボン重合物からなるグラニューラー薄膜を形成したとするときの成膜速度は0.25nm/sec(2.5Å/sec)である。この条件で、グラニューラー薄膜の厚さが300nmになるように20分間成膜を行い、第8図に示す5種類の薄膜(試料No. 1~5)を得た。得られた薄膜について磁気的な特性を測定した。その結果を第8図に示す。

15 20

第8図から、 C_4F_8 ガス分圧を変化させることで、飽和磁化(B_s)および電気抵抗(ρ)が変動することがわかる。 C_4F_8 ガス分圧が0mTorr(試料No. 1)では飽和磁化(B_s)は高いが、100 $\mu\Omega cm$ 以上という高い電気抵抗率(ρ)を得ることはできない。一方、 C_4F_8 ガス分圧を0.4~1.0mTorrとした本発明の試料No. 2~5によれば、0.5T(5.0kG)以上の飽和磁化(B_s)および400 $\mu\Omega cm$ 以上の電気抵抗率(ρ)を

25

兼備することができる。また本発明の試料No. 2～5は、保磁力 (H_{ce} : 磁化容易軸方向の保磁力) として14. 3～22. 6 Oe (1138～1800 A/m)、保磁力 (H_{ch} : 磁化困難軸方向の保磁力) として7. 1～14. 5 Oe (565～1154 A/m) という良好な特性も示した。共鳴周波数は
5 2 GHzを超えており、GHz領域で透磁率の実数部 (μ') は50以上、性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は1 GHzでは1以上の値が得られた。また、本発明の試料No. 2～5は面内一軸磁気異方性が観察された。

なお、第8図にはマトリックス体積比も示した。このマトリックス体積比は、飽和磁化 (B_s) の値に基づき、有機物 (フルオロカーボン重合物) の体積比
10 (vol%) を算出したものである。

第9図は、試料No. 1～4のX線回折パターンを示している。第9図に示すように、 C_4F_8 ガス分圧 (第9図には $P_{C_4F_8}$ と表記) が0 mTorrの場合 (試料No. 1) には、CoFeのシャープなピークが観察された。一方、 C_4F_8 ガス分圧が0. 4 mTorr (試料No. 2) になるとCoFeのシャープなピークが消失する。 C_4F_8 ガス分圧が0. 6 mTorrの場合 (試料No. 3)、
15 C_4F_8 ガス分圧が0. 8 mTorrの場合 (試料No. 4) にはCoFeのピークはほとんど観察されなかった。

第10図 (a) は試料No. 2 (C_4F_8 ガス分圧: 0. 4 mTorr) のTEM写真、第10図 (b) は試料No. 4 (C_4F_8 ガス分圧: 0. 8 mTorr) のTEM写真である。第10図 (a) と第10図 (b) との比較から、 C_4F_8 ガス分圧が0. 8 mTorrである試料No. 4の方が、試料No. 2 (C_4F_8 ガス分圧: 0. 4 mTorr) よりも、微結晶化が一層進んでいることが確認できた。試料No. 2の平均結晶粒径は19 nm、試料No. 4の平均結晶粒径は8 nmであり、実測値でも試料No. 4の方が試料No. 2よりも微結晶
25 であることが確認できた。

また後述する電子線回折パターン (第11図) から、第10図 (a)、第10図 (b) 中、粒子間の白い部分はマトリックスを構成する有機ポリマーを示し、それ以外の部分は強磁性金属粒子を示していることが確認できた。粒子と粒子と

の間に形成されるフルオロカーボン重合物の幅は、試料No. 2において約2 nmであり、試料No. 3においては2～5 nmである。

第11図に試料No. 2の電子線回折パターンを示す。第11図に示すように、(110)、(200)、(211)、(220)に対応する個所に、くっきりとした回折線が観察された。これはCoFeからの回折を示している。

また、(110)、(200)、(211)、(220)に対応する以外の個所からも、回折線が観察された。X線回折カードJCPDS (Joint Committee of Powder Diffraction Standard) を用いた評価の結果、その回折線はX線回折カードJCPDS 27-1837の回折パターンと合致しており、フルオロカーボン重合物からの回折であることがわかった。つまり、FeCoからの回折ならびにフルオロカーボン重合物からの回折が同時に観察されたことから、試料No. 2においてFeCoとフルオロカーボン重合物との混合状態が形成されていることが明らかとなった。これにより、第10図(a)および第10図(b)に示した構造、すなわち、有機ポリマー中に強磁性金属粒子が分散されている構造がグラニューラー構造であることが確認できた。

産業上の利用可能性

本発明によれば、GHz帯域の高周波領域で高い透磁率を有し、かつ高い飽和磁化を有する高周波用磁性薄膜として用いることのできるグラニューラー物質およびグラニューラー薄膜が提供される。

請 求 の 範 囲

1. 非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックスと、
前記マトリックス中に分散する平均粒径が50nm以下の強磁性金属粒子
5 とを含むグラニューラー物質であって、
前記マトリックスの体積比が5～50%であることを特徴とするグラニュー
ー物質。
2. 前記強磁性金属粒子は、Fe、CoおよびNiから選択される少なくとも
10 1種の元素を主体とする金属から構成されることを特徴とする請求項1に記載
のグラニューラー物質。
3. 前記強磁性金属粒子は、FeおよびCoを主体とする金属から構成される
ことを特徴とする請求項1に記載のグラニューラー物質。
15
4. FeおよびCoを主体とする前記金属中のCoの濃度が10～50at%
であることを特徴とする請求項3に記載のグラニューラー物質。
5. 前記強磁性金属粒子が互いに交換結合が働く距離だけ離間して存在するこ
20 とを特徴とする請求項1に記載のグラニューラー物質。
6. 前記マトリックスは、有機ポリマーから構成されることを特徴とする請求
項1に記載のグラニューラー物質。
- 25 7. 前記マトリックスの体積比が5～40%であることを特徴とする請求項1
に記載のグラニューラー物質。
8. 前記グラニューラー物質は膜状の形態を有し、1GHzにおける複素透磁率

の実数部 (μ') が 40 以上で、かつ性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$, μ'' : 複素透磁率の虚数部) が 1 以上、飽和磁化が 5 kG 以上の特性を有することを特徴とする請求項 1 に記載のグラニューラー物質。

- 5 9. 1 GHz における複素透磁率の実数部 (μ') が 50 以上であることを特徴とする請求項 8 に記載のグラニューラー物質。

10. 性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$, μ'' : 複素透磁率の虚数部) が 5 以上であることを特徴とする請求項 8 または 9 に記載のグラニューラー物質。

10

11. 飽和磁化が 6 kG 以上の特性を有することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載のグラニューラー物質。

12. 電気抵抗率が $100 \mu\Omega \text{ cm}$ 以上の特性を有することを特徴とする請求項 1 に記載のグラニューラー物質。

15

13. 面内磁気異方性を有し、膜厚が $100 \sim 2000 \text{ nm}$ の磁性薄膜であって、

前記磁性薄膜は、

- 20 Fe、Co および Ni から選択される少なくとも 1 種の元素を主体とする平均粒径が 50 nm 以下の強磁性金属粒子と有機ポリマーとの混合物からなり、
前記混合物中において前記強磁性金属粒子が互いに交換結合が働く距離だけ離間して存在することを特徴とする磁性薄膜。

- 25 14. 前記強磁性金属粒子は、Fe および Co を主体とする金属から構成されることを特徴とする請求項 13 に記載の磁性薄膜。

15. 前記強磁性金属粒子の平均粒径は $5 \sim 15 \text{ nm}$ であることを特徴とする

請求項 13 に記載の磁性薄膜。

16. 前記有機ポリマーはポリイミドであることを特徴とする請求項 13 に記載の磁性薄膜。

5

17. 高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、
前記高周波用磁性薄膜は、

非磁性絶縁有機物材料からなるマトリックスと、

10 前記マトリックス中に分散する平均粒径が 50 nm 以下の強磁性金属粒子と
を含み、

前記マトリックスの体積比が 5 ～ 50 % であるグラニューラ物質から構成されることを特徴とする磁気素子。

15 18. 前記強磁性金属粒子の平均粒径は 5 ～ 30 nm であることを特徴とする
請求項 17 に記載の磁気素子。

19. 前記強磁性金属粒子は、Fe および Co を主体とする金属から構成されることを特徴とする請求項 17 に記載の磁気素子。

20 20. 前記マトリックスは有機ポリマーから構成されることを特徴とする請求
項 17 に記載の磁気素子。

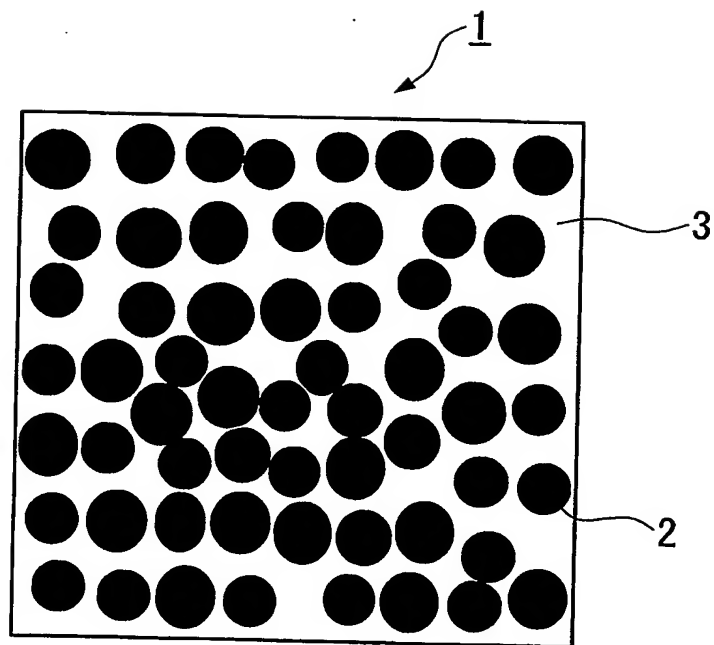
21. 前記有機ポリマーはフルオロカーボン重合物であり、
前記高周波用磁性薄膜の電気抵抗率が $300 \mu\Omega \text{ cm}$ 以上であることを特徴
25 とする請求項 20 に記載の磁気素子。

22. 前記高周波用磁性薄膜は、1 GHz における複素透磁率の実数部 (μ')
が 40 以上で、かつ性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$, μ'' : 複素透磁率の虚数

部) が 1 以上、飽和磁化が 5 k G 以上の特性を有することを特徴とする請求項 1 7 に記載の磁気素子。

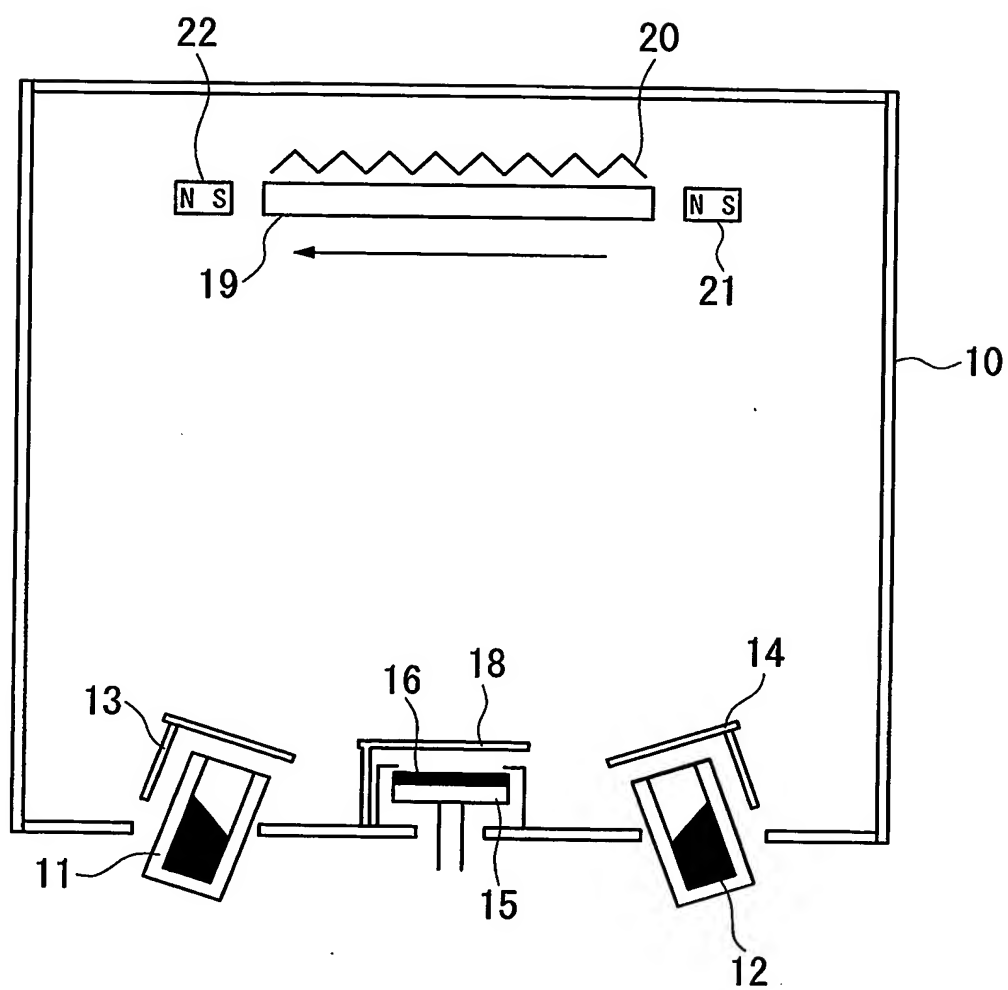
1/11

第 1 図



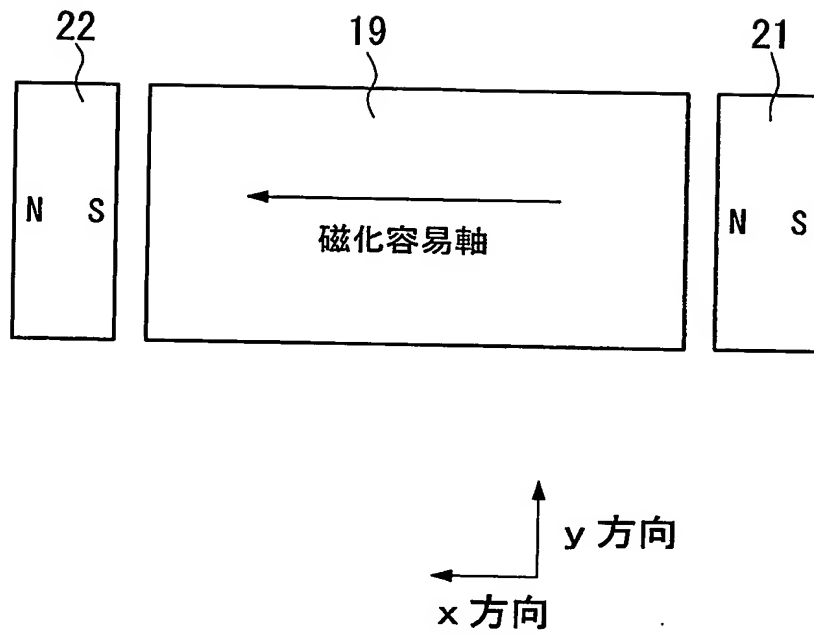
2/11

第 2 図



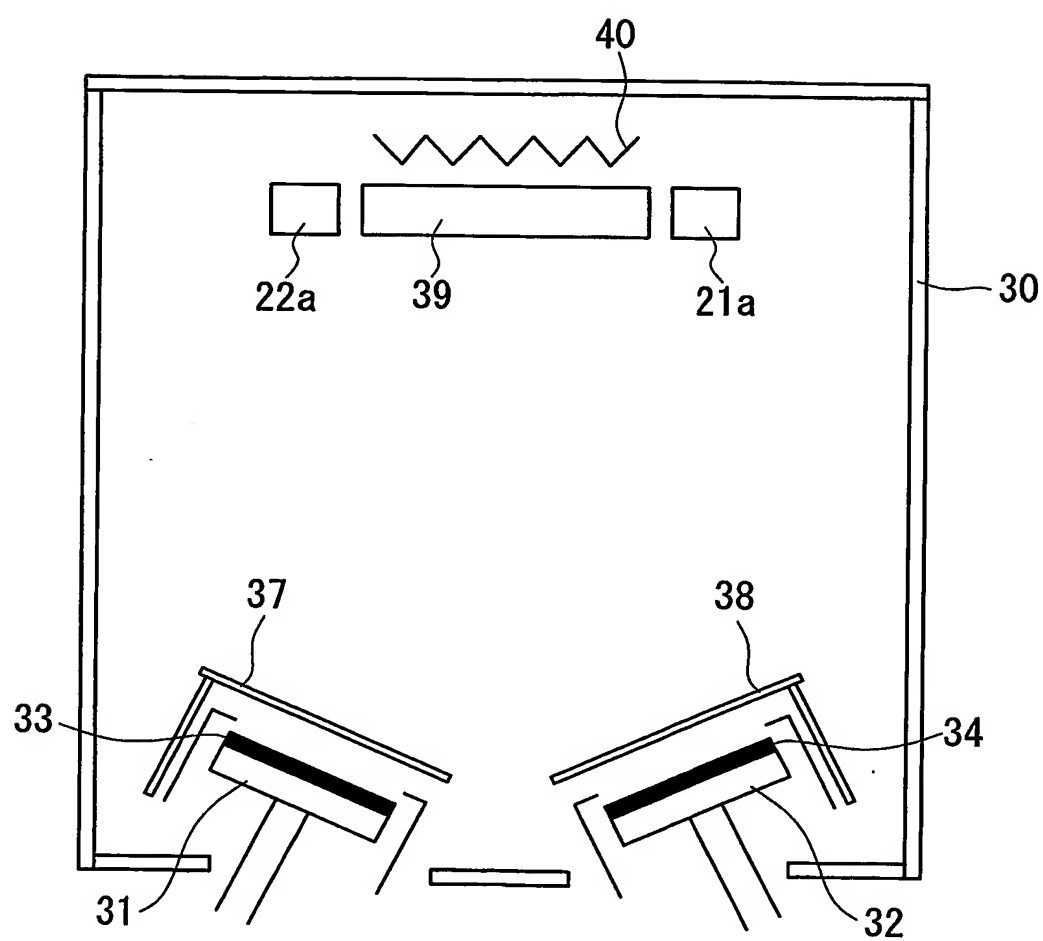
3/11

第 3 図



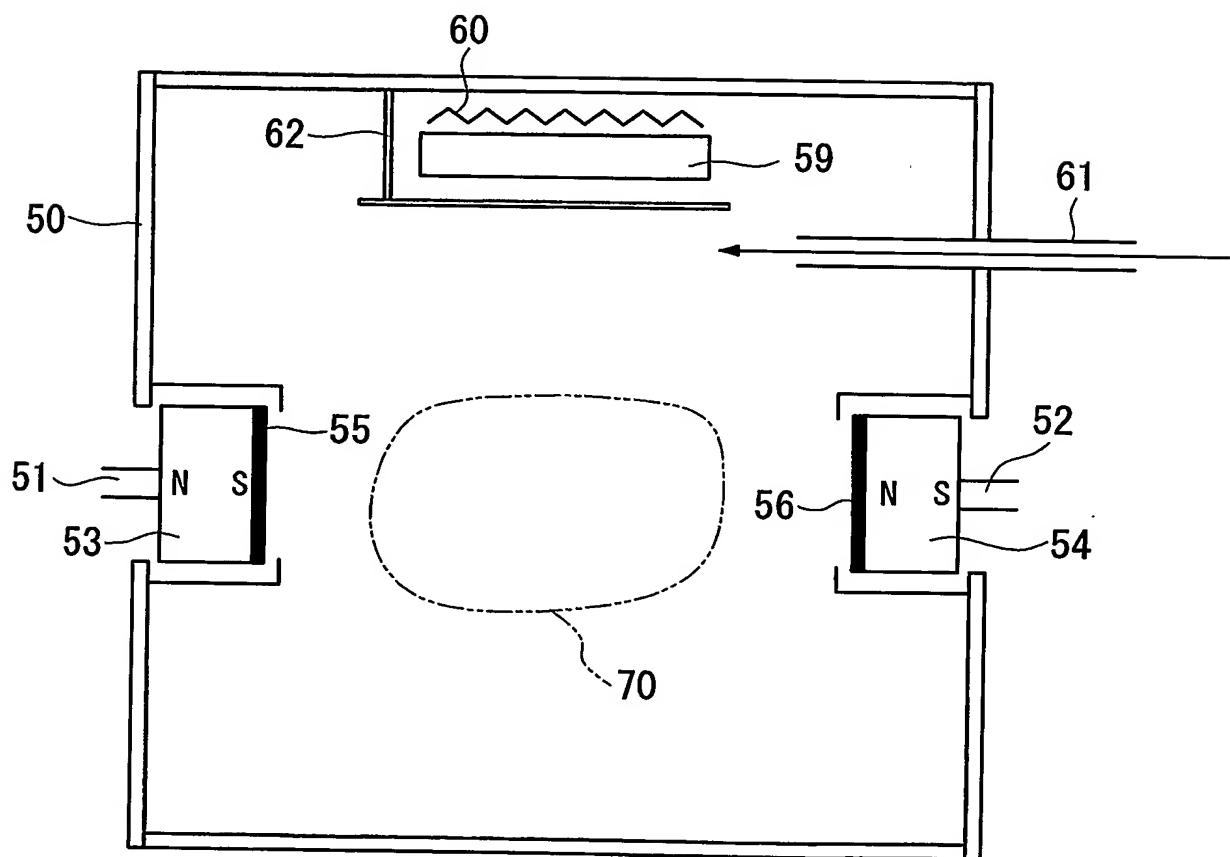
4/11

第 4 図



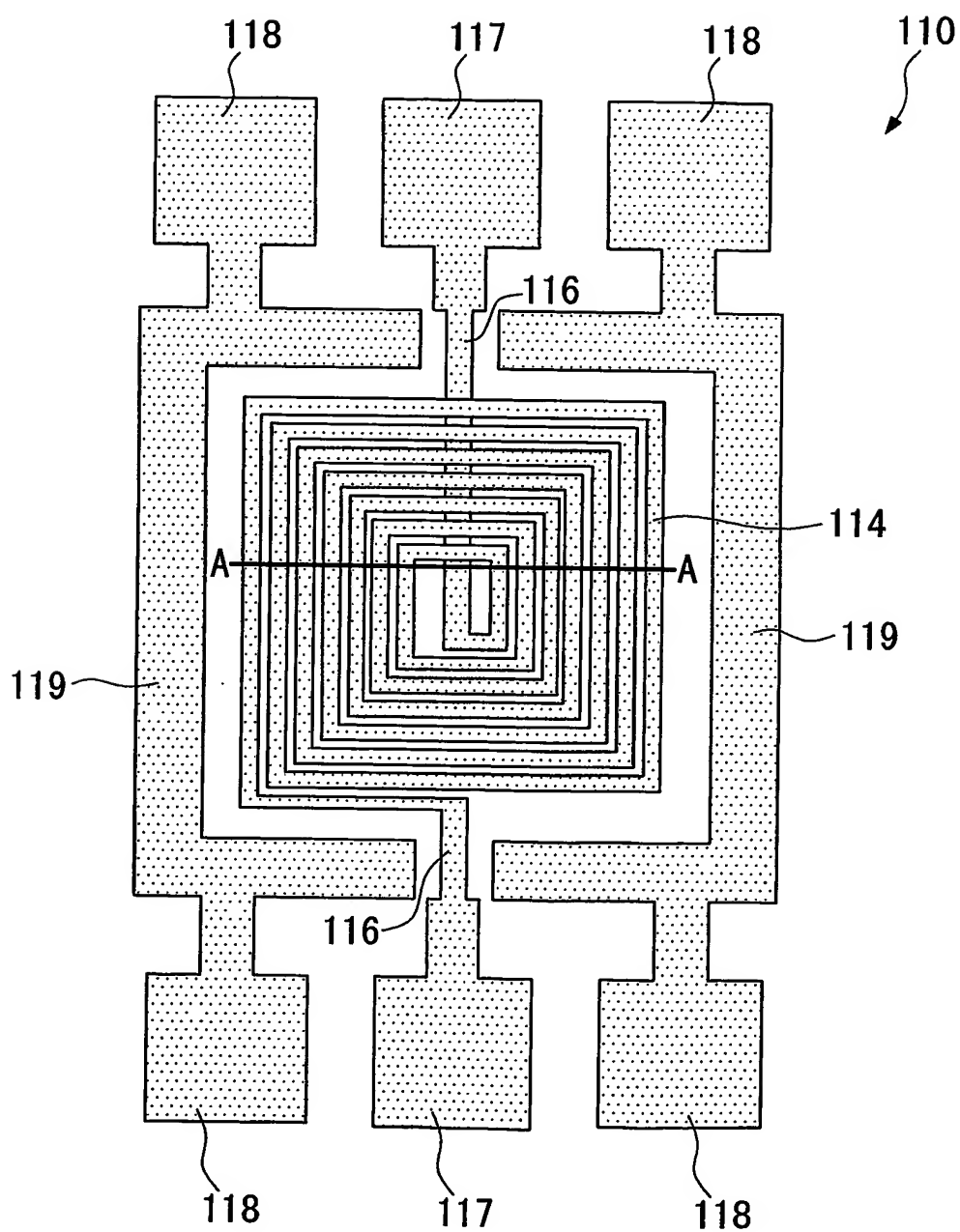
5/11

第 5 図



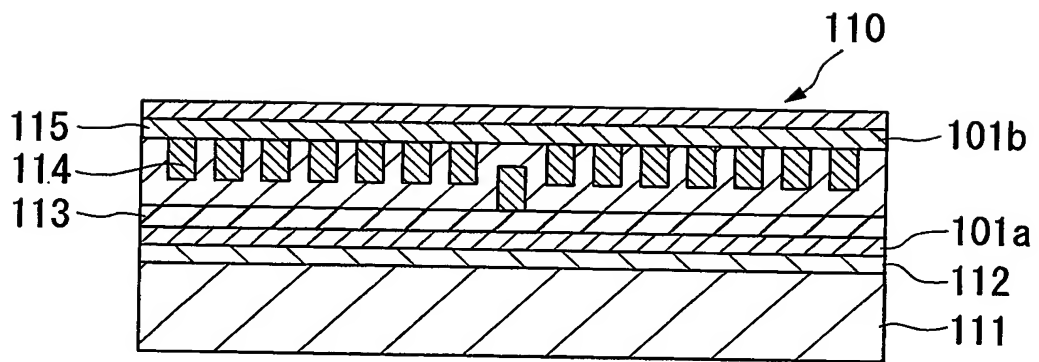
6/11

第6図



7/11

第 7 図



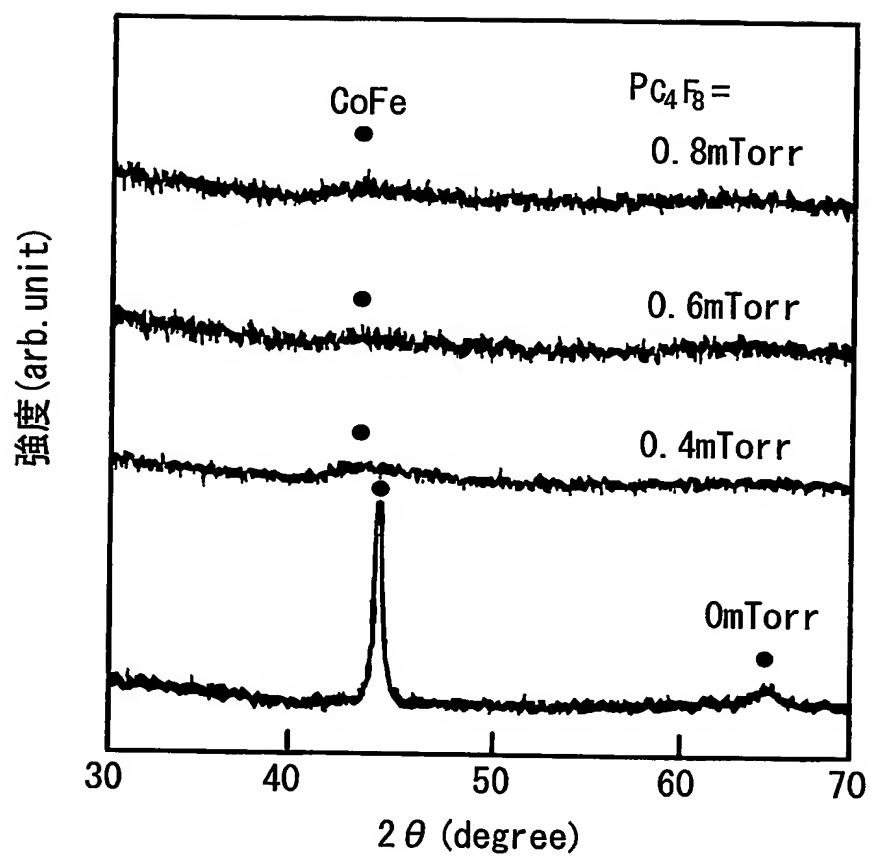
8/11

第8図

サンプル	C ₄ F ₈ ガス 分圧 (mTorr)	マトリック ス体積比 (vol%)	ρ ($\mu\Omega\text{cm}$)	磁気特性			高周波透磁率特性				備考
				Bs (T)	Hce (Oe)	Hch (Oe)	共鳴 周波数 (GHz)	μ' (at 1GHz)	μ'' (at 1GHz)	Q (at 1GHz)	
1	0	0	60	2.20	144.0	35.0	>>2.0	—	—	—	比較例
2	0.4	10	440	1.25	16.5	12.6	>>2.0	100	15	7	本発明
3	0.6	16	790	0.94	16.0	14.5	>>2.0	70	15	5	本発明
4	0.8	24	2190	0.61	22.6	7.1	>>2.0	50	10	5	本発明
5	1.0	26	2020	0.54	14.3	9.0	>>2.0	50	10	5	本発明

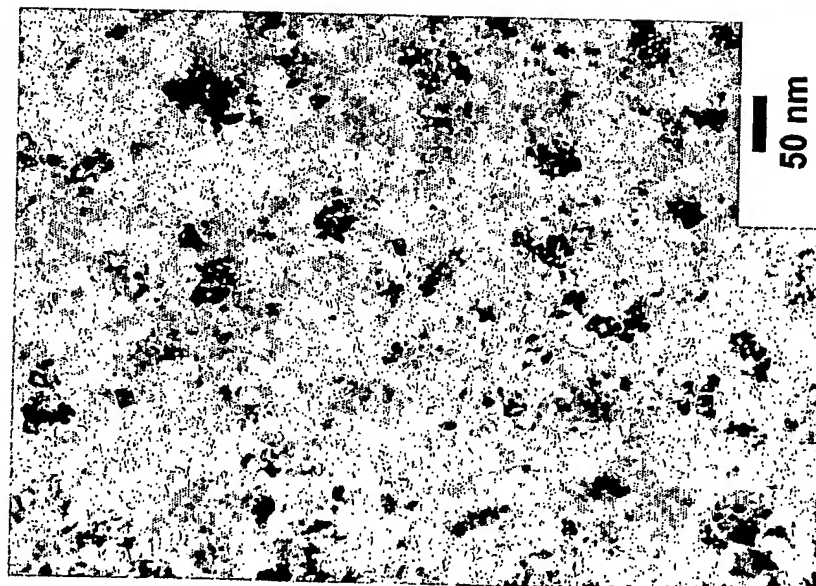
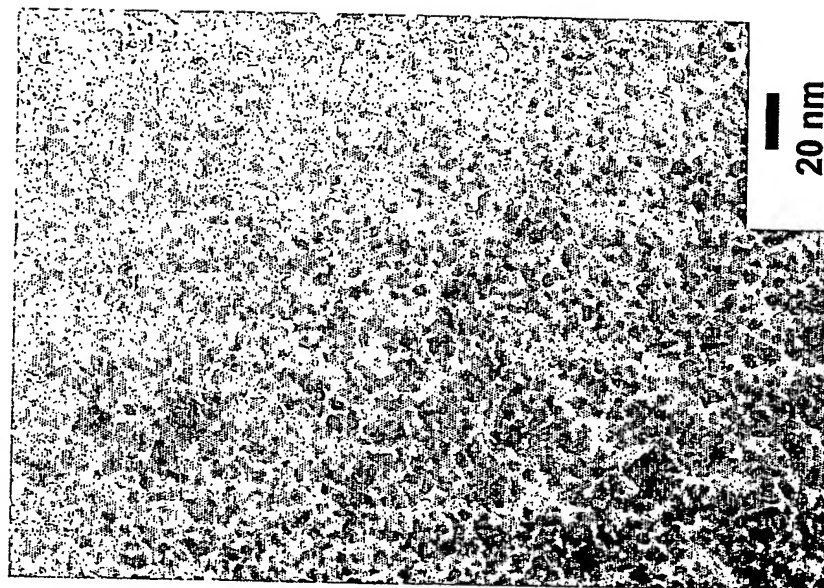
9/11

第9図



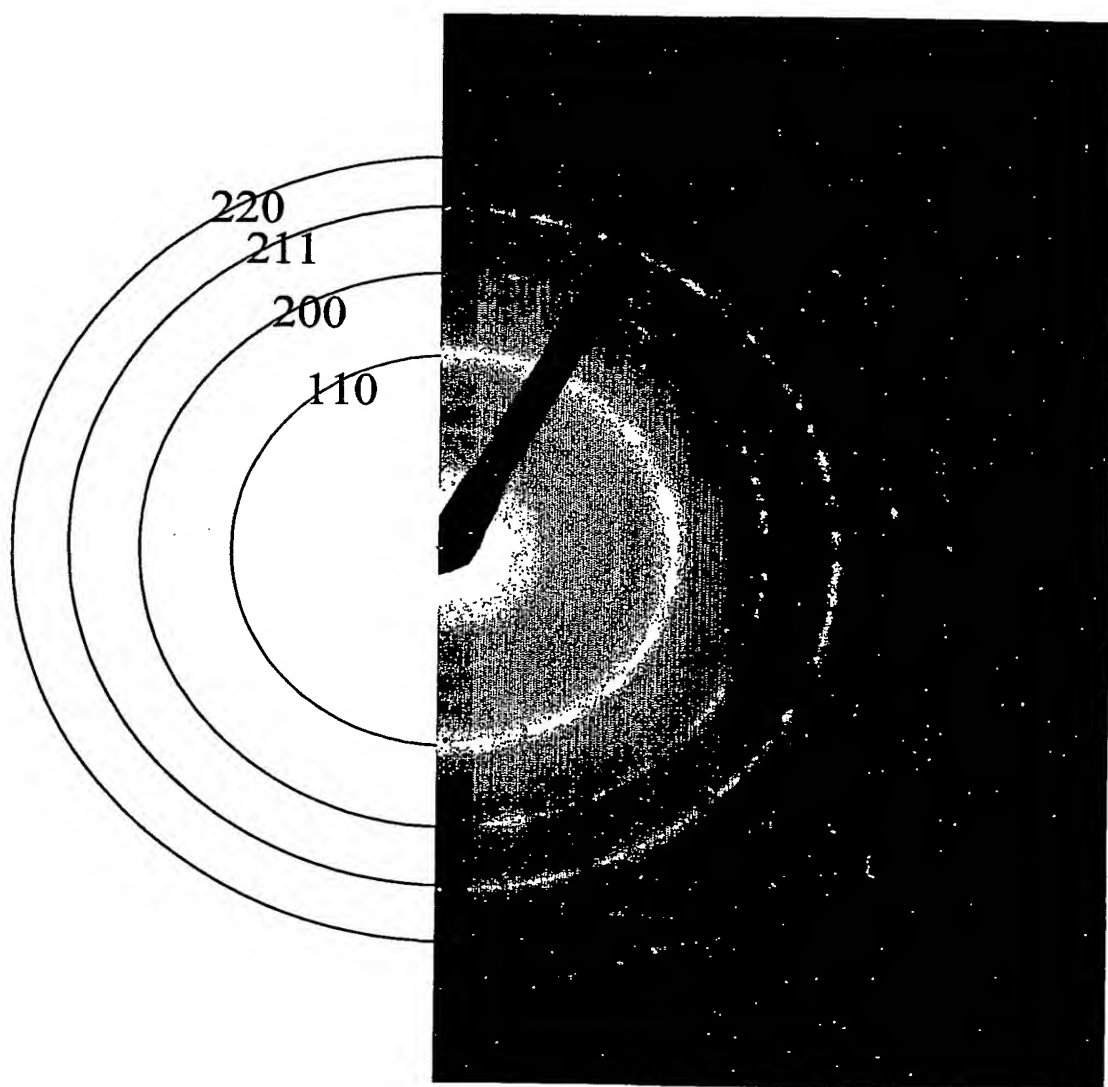
10/11

第10図

(a) $\text{PCl}_4\text{F}_8 = 0.4 \text{ mTorr}$ (b) $\text{PCl}_4\text{F}_8 = 0.8 \text{ mTorr}$ 

11/11

第 1 1 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16097

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01F10/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01F10/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 6-140687 A (Hitachi Maxell, Ltd.), 20 May, 1994 (20.05.94), Full text; Figs. 1 to 3 (Family: none)	1, 2, 5-13, 15, 17, 18, 20, 22 3, 4, 14, 16, 19, 21
Y	JP 10-308320 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 17 November, 1998 (17.11.98), Full text; Fig. 1 (Family: none)	3, 4, 14, 19
Y	JP 9-35927 A (Tokin Corp.), 07 February, 1997 (07.02.97), Full text; Figs. 1 to 4 & EP 0785557 A & CN 1165579 A & KR 0267358 A & WO 97/4469 A	16

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
23 February, 2004 (23.02.04)

Date of mailing of the international search report
09 March, 2004 (09.03.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/16097

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-241935 A (Toshiba Corp.), 11 September, 1998 (11.09.98), Full text; Figs. 1 to 7 (Family: none)	21

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01F 10/16

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01F 10/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 6-140687 A (日立マクセル株式会社) 1994. 05. 20, 全文, 第1-3図 (ファミリーなし)	1, 2, 5-13, 15, 17, 18, 20, 22
Y		3, 4, 14, 16, 1 9, 21
Y	J P 10-308320 A (住友金属工業株式会社) 1998. 11. 17, 全文, 第1図 (ファミリーなし)	3, 4, 14, 19

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

23. 02. 2004

国際調査報告の発送日

09. 3. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山田 正文

5R

3142

電話番号 03-3581-1101 内線 3565

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 9-35927 A (株式会社トーキン) 1997. 02. 07, 全文, 第1-4図 & EP 0785557 A & CN 1165579 A & KR 0267358 A & WO 97/4469 A	16
Y	JP 10-241935 A (株式会社東芝) 1998. 09. 11, 全文, 第1-7図 (ファミリーなし)	21